

DIALOG(R)File 347:JAPIO  
(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04790676      \*\*Image available\*\*

CONTROL DEVICE OF VERTICAL AIR SPRING TYPE VIBRATION ELIMINATING BOARD

PUB. NO.:        07-083276    [ J P 7083276 A]  
PUBLISHED:      March 28, 1995 (19950328)  
INVENTOR(s):    WAKUI SHINJI  
APPLICANT(s):   CANON INC [000100] (A Japanese Company or Corporation), JP  
                  (Japan)  
APPL. NO.:      05-231135    [JP 93231135]  
FILED:          September 17, 1993 (19930917)  
INTL CLASS:     [6] F16F-015/02; E04H-009/02; F16F-015/04  
JAPIO CLASS:    22.2 (MACHINERY -- Mechanism & Transmission); 27.2  
                  (CONSTRUCTION -- Building); 41.3 (MATERIALS --  
                  Semiconductors); 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)  
JAPIO KEYWORD: R076 (CONSTRUCTION -- Aseismic Structures)

ABSTRACT

PURPOSE: To dispense with making a solid vibration eliminating board and to suppress the twisting movement of a flexible vibration mode generated by making no solid condition, effectively together with the vibration mode of a solid body, in a control device of a vertical air spring type vibration eliminating board.

CONSTITUTION: A movement mode extracting circuit 16 extracts the movement modes of one translational degree of freedom, two rotational degree of freedoms, and one twisting degree of freedom, by the operation of inputting the position deflecting signals of four positions. A movement mode extracting circuit 16' extracts the movement modes of one translational degree of freedom, two rotational degree of freedoms, and one twisting degree of freedom, by the operation of inputting the acceleration sensor outputs of four positions. A movement distribution circuit 17 produces the driving force to the air springs of four positions by the operation of inputting a movement mode driving signal made by the negative feedback of the output of the movement mode extracting circuit 16 to the compensation signal output made by applying an adequate compensation to the output of the movement mode extracting circuit 16.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

DIALOG(R)File 345:Inpadoc/Fam.& Legal Stat  
(c) 2003 EPO. All rts. reserv.

12322288

Basic Patent (No,Kind,Date): JP 7083276 A2 19950328 <No. of Patents: 002>

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applic No	Kind	Date	
JP 7083276	A2	19950328	JP 93231135	A	19930917	(BASIC)
JP 3046696	B2	20000529	JP 93231135	A	19930917	

Priority Data (No,Kind,Date):

JP 93231135 A 19930917

PATENT FAMILY:

JAPAN (JP)

Patent (No,Kind,Date): JP 7083276 A2 19950328

CONTROL DEVICE OF VERTICAL AIR SPRING TYPE VIBRATION ELIMINATING BOARD  
(English)

Patent Assignee: CANON KK

Author (Inventor): WAKUI SHINJI

Priority (No,Kind,Date): JP 93231135 A 19930917

Applic (No,Kind,Date): JP 93231135 A 19930917

IPC: \* F16F-015/02; E04H-009/02; F16F-015/04

Language of Document: Japanese

Patent (No,Kind,Date): JP 3046696 B2 20000529

Patent Assignee: CANON KK

Author (Inventor): WAKUI SHINJI

Priority (No,Kind,Date): JP 93231135 A 19930917

Applic (No,Kind,Date): JP 93231135 A 19930917

IPC: \* F16F-015/02; E04H-009/02; F16F-015/04

Language of Document: Japanese

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-83276

(43) 公開日 平成7年(1995)3月28日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 1 6 F 15/02	A	9138-3 J		
E 0 4 H 9/02	3 3 1 Z	9023-2 E		
F 1 6 F 15/04	A	9138-3 J		

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平5-231135

(22) 出願日 平成5年(1993)9月17日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 涌井 伸二

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

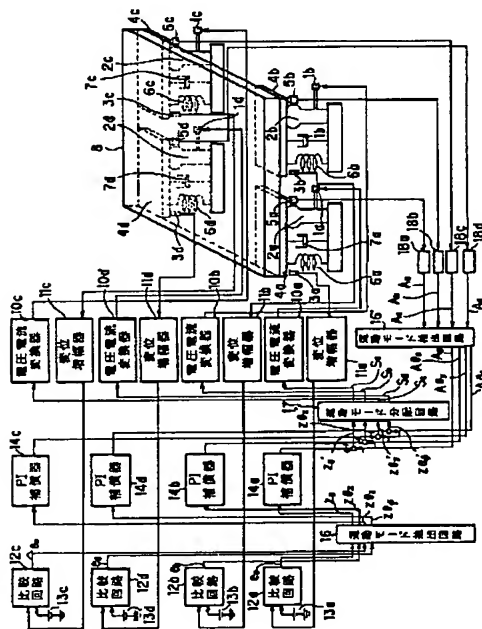
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置

(57) 【要約】

【目的】 鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置において、除振台を剛に作る必要性を排除し、かつ剛に作らなかったことによって発生する柔軟な振動モードの捻り運動も剛体の振動モードとともに効果的に抑制する。

【構成】 運動モード抽出回路16は、4箇所の位置偏差信号を入力とする演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の運動モードを抽出する。運動モード抽出回路16'は4箇所の加速度センサ出力を入力する演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の運動モードを抽出する。運動モード分配回路17は、運動モード抽出回路16の出力に対して適切な補償を施した補償信号出力に対して運動モード抽出回路16の出力を負帰還してなる運動モード駆動信号を入力とした演算によって4箇所の空気ばねへの駆動力を生成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位置センサと、加速度センサと、空気ばねと、前記空気ばねの内圧を制御するサーボバルブとを有する空気ばね式支持脚が平板状除振台の 4 隅に配置された鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置であって、前記空気ばね式支持脚 4 台毎の独立のフィードバック装置を有する鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置において、

4 箇所の位置偏差信号を入力とする演算によって並進 1 自由度、回転 2 自由度、及び捻り 1 自由度の運動モードを抽出する、位置に関する 4 自由度の運動モード抽出回路と、

4 箇所の加速度センサ出力を入力とする演算によって並進 1 自由度、回転 2 自由度、及び捻り 1 自由度の運動モードを抽出する、加速度に関する 4 自由度の運動モード抽出回路と、

前記位置に関する 4 自由度の運動モード抽出回路の出力に対して適切な補償を施した補償信号出力に対して前記加速度に関する 4 自由度の運動モード抽出回路の出力を負帰還してなる運動モード駆動信号を入力とした演算によって 4 箇所の空気ばねへの駆動力を生成する 4 自由度の運動モード分配回路とが、空気ばね式支持脚 4 台毎の前記独立のフィードバック装置に挿入されていることを特徴とする鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は特に半導体製造装置の中で使用される空気ばね式支持脚 4 台から成る鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 空気ばね式除振台上には振動を排除して使用せねばならない機器群が搭載される。例えば、露光用 X Y ステージなどである。適切かつ迅速な露光を行わせるため、この機器は外部から伝達する振動を極力除去した除振台上に搭載されねばならない。何故ならば、露光は露光用 X Y ステージが完全停止の状態で行われねばならないからである。さらに、露光用 X Y ステージはステップ&リピートという間欠運転を特徴としているので、繰り返しのステップ振動を自身が発生しこれが除振台の揺れを惹起することにも注意せねばならない。この種の振動が安定しきれないで残留する場合も、露光動作に入ることは不可能である。従って、除振台には、外部振動に対する除振と、強制振動に対する制振とをバランスよく実現することが求められる。

【0003】 周知のように、空気ばね式除振台の制御装置には除振台変位を検出しその量に応じて除振台を駆動するという能動的フィードバック制御が導入されている。図 5 は、空気ばね式支持脚 4 台を用いて除振台 8 を鉛直方向に位置決め制御する従来の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置の構成図であり、空気ばね式支持脚は

除振台 8 の 4 隅に配置されている。図 5 において、空気ばね 2 a へ動作流体の空気を給気・排気するサーボバルブ 1 a、支持台 4 a の鉛直方向変位を計測する位置センサ 3 a、支持台 4 a の鉛直方向加速度を計測する加速度センサ 5 a、予圧用機械ばね 6 a、空気ばね 2 a と機械ばね及び図示していない機構全体の粘性を表現する粘性要素 7 a から成る機構は空気ばね式支持脚と呼ばれる。図 5 に示すように、空気ばね式支持脚は除振台 8 を鉛直方向に支持するために 4 台使用されるが、それらの要素部品番号の次に a、b、c、d の記号を付けて区別しよう。

【0004】 次に、空気ばね式支持脚に対するフィードバック装置 15 a の構成とその動作を記号 a を付けた部位を取り上げて説明する。まず、加速度センサ 5 a の出力は適切な増幅度と時定数とを有するローパスフィルタ 9 a を通ってサーボバルブ 1 a の弁開閉用の電圧電流変換器 10 a の前段に負帰還される。この加速度フィードバックループにより機構の安定化がはかられる。すなわち、ダンピングが付与される。さらに、位置センサ 3 a の出力は変位増幅器 11 a を通って比較回路 12 a の入力となっている。ここでは、地面に対する支持台 4 a の目標位置と等価な目標電圧 13 a と比較されて位置偏差信号 e、となる。この位置偏差信号 e、は P I 補償器 14 a を通って電圧電流変換器 10 a を励磁する。すると、サーボバルブ 1 a の弁開閉によって空気ばね 2 a 内の圧力が調整されて支持台 4 a は所定位置に定常偏差零で保持可能となる。ここで、P は比例、I は積分動作をそれぞれ意味する。他の 3 個の空気ばね式支持脚に対しても、フィードバック装置 15 a と同様の構成が採られる。すなわち、図 5 においてフィードバック装置 15 b、15 c、15 d は 15 a と同様の装置構成となる。

【0005】 さて、上述したように除振台 8 の上には、振動を極力排除せねばならない機器群が搭載される。したがって、一般に除振台 8 は極めて剛に作る必要がある。これは除振台 8 とその上に搭載した機器群を含めた装置全体重量の著しい増加を招く。また、大重量物でしかも精密機器を搭載する装置なので、その搬出・搬入作業は危険かつ細心の注意を必要とする。搬送用の特別な機械が必要にもなる。さらには、大重量物の装置設置場所を堅固と成すことも必要になってくる。具体的には、耐床荷重の大きな建物を準備せねばならない。結局、除振台 8 を剛に作らねばならないことが、それ自身のコストを上げるのみならず、装置の搬出・搬入あるいは設置場所などを含めた総合コストを引き上げる結果を招来するのである。

【0006】 なお、特開平 3-28910 号公報には空気ばね式除振台に対する制御として状態フィードバックをベースにした方式が開示されている。また、特開平 3-189710 号公報にもボイスコイルモータをアクチュエータとした除振装置を対象としているがやはり最適

制御理論に基づく状態フィードバックベースの制御装置構成が開示されている。しかし、状態フィードバックは制御対象の物理パラメータに強く依存した制御となるため産業用機器として実用的なものとはならないことは周知である。

【0007】本発明の目的は、除振台を従来に比して剛に作る本質的必要性を排除し、剛に作らなかったことによって発生する柔軟な振動モードの捻り運動も剛体の振動モードとともに効果的に抑制する、鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決しようとする課題】本発明の、鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置は、位置センサと、加速度センサと、空気ばねと、前記空気ばねの内圧を制御するサーボバルブとを有する空気ばね式支持脚が平板状除振台の4隅に配置され、空気ばね式支持脚4台毎の独立のフィードバック装置を具備して成る鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置において、4箇所の位置偏差信号を入力とする演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の運動モードを抽出する、位置に関する4自由度の運動モード抽出回路と、4箇所の加速度センサ出力を入力とする演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の運動モードを抽出する、加速度に関する4自由度の運動モード抽出回路と、位置に関する4自由度の運動モード抽出回路の出力に対して適切な補償、例えばPI補償を施した補償信号出力に対して加速度に関する4自由度の運動モード抽出回路の出力を負帰還してなる運動モード駆動信号を入力とした演算によって4箇所の空気ばねへの駆動力を生成する4自由度の運動モード分配回路とが空気ばね式支持脚4台毎の独立のフィードバック装置内に挿入されている。

【0009】

【作用】本発明によれば、4箇所の位置偏差信号を入力とした演算によって、位置に関する並進1自由度と回転2自由度という合計3個の剛体運動モードのみならず柔軟な捻り運動モードをも抽出する。同時に、4箇所の加速度信号を入力とした演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の加速度に関する運動モードも抽出する。位置に関する運動モード偏差信号はPI補償器を通った後、負帰還の運動モード加速度信号と加算されて運動モード駆動信号となり、この信号は運動モード分配回路を通して4箇所の空気ばねに対して駆動力を発生させるように構成される。従って、位置に関する運動モード毎に最適な補償を施すことが可能となり、かつ加速度に関しては運動モード毎に最適なダンピングが掛けられる。空気ばね式支持脚1台毎に独立なフィードバック装置を有する制御装置においては、他の空気ばね式支持脚の運動が及ぼす影響のために姿勢制御が効果的に掛けられなかったが、本発明によればそうした問題は解決される。

【0010】また、4台の空気ばね式支持脚によって除振台を鉛直方向に安定に支持する調整作業は相互干渉のために煩雑であった。すなわち、ある空気ばね式支持脚に対する目標電圧の調整による目標位置の設定、制御ループゲイン調整、あるいはPI補償器の時定数調整などは、他の空気ばね式支持脚の運動にも相互に影響を及ぼすために、除振台を安定に支持する調整作業は煩雑であった。しかし、本発明によれば、空気ばね式支持脚の取り付け部位という局所的な安定化作業とは異なり、除振台の大局的運動をみた調整が可能となる。すなわち、本発明によれば、並進運動に関する制御系のパラメータ調整や回転運動に関する制御系のパラメータ調整などが各々独立して実施できる。つまり、安定化の調整作業、性能の追い込みの調整作業は随分と見通しよくなり従来に比して簡便となる。

【0011】さらに、従来から除振台はその上に大重量物の機器を搭載するため剛に作られ、これは装置全体の重量を著しく増加せしめていた。このため、装置の搬出・搬入は不便であるし、かつ大重量物設置に耐える床工事を必要としていた。本発明によれば、捻り運動モードを効果的に抑制できるので除振台を剛に作る本質的必要性はなくなる。この場合、装置全体重量を増加させることがないので、装置の搬出・搬入に苦労はなくなるし、かつ耐荷重の大きな床を準備することもない。つまり、総合コスト上昇を抑えることができる。また、除振台を如何に剛に作ろうとも、所詮は捻り運動のような柔軟な運動モードは存在する。従って、剛に作られた従来からの除振台に対して本発明を適用した場合も姿勢制御は好適に実現される。

【0012】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0013】図1は本発明の一実施例の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置の構成図である。

【0014】本実施例が図5の従来例と異なる点は、比較回路12a, 12b, 12c, 12dとPI補償器14a, 14b, 14c, 14dの間に挿入され、また空気ばね式支持脚の位置偏差信号

【0015】

【数1】

$$[e_a, e_b, e_c, e_d]^T$$

を入力とした演算によって並進1自由度、回転2自由度及び捻り1自由度の運動モード偏差信号

【0016】

【数2】

$$[z_g, z\theta_x, z\theta_y, z\theta_\phi]^T$$

を抽出する、4自由度の位置に関する運動モード抽出回路16と、それぞれ加速度センサ5a, 5b, 5c, 5

5

dの次段に設けられ、オフセットと高周波ノイズ除去を目的とした前置補償器18a, 18b, 18c, 18dと、各空気ばね式支持脚に取り付けられた加速度センサ5a, 5b, 5c, 5dの出力

【0017】

【数3】

$$[A_a, A_b, A_c, A_d]^T$$

を入力とした演算によって並進1自由度、回転2自由度、及び捻り1自由度の加速度に関する運動モード信号

【0018】

【数4】

$$[A_g, A\theta_x, A\theta_y, A\theta_\phi]^T$$

を抽出する運動モード抽出回路16'と、PI補償器14a, 14b, 14c, 14dの出力に対して運動モード抽出回路16'の出力、すなわち加速度に関する運動モード信号と

【0019】

【数5】

$$[A_g, A\theta_x, A\theta_y, A\theta_\phi]^T$$

を負帰還の形で加算した

【0020】

【数6】

$$[z_g', z\theta_x', z\theta_y', z\theta_\phi']^T$$

を入力とした演算によって電圧電流変換器10a, 10b, 10c, 10dを経て4箇所のアクチュエータに駆動信号

【0021】

【数7】

$$[s_a, s_b, s_c, s_d]^T$$

を分配する、4自由度の運動モード分配回路17とを備えている点である。なお、ローパスフィルタ9a, 9b, 9c, 9dは除かれている。

【0022】ここで、上付き添字Tは転置を意味する。また、位置に関する運動モード抽出回路16と、加速度に関する運動モード抽出回路16'とは同一の演算を行う。

【0023】図2(a)は除振台8全体が鉛直方向に変位する並進運動モード、図2(b)は除振台8全体がx軸回りに回転する回転運動モード、図2(c)は除振台8全体がy軸回りに回転する回転運動モードをそれぞれ示す図である。これらの3自由度の運動は何れも除振台8の変形を伴わない剛体運動モードである。最後に残った図2(d)は除振台8が柔軟であることに原因して発生する変形を伴う捻り運動モードを示す図である。

【0024】さて、運動モード抽出回路16の出力であ

6

る運動モード偏差信号

【0025】

【数8】

$$[z_g, z\theta_x, z\theta_y, z\theta_\phi]^T$$

は、各々PI補償器14a, 14b, 14c, 14dに導かれている。

【0026】一方、図5の従来の制御装置におけるPI補償器14a, 14b, 14c, 14dに対しては各空気ばね式支持脚の局所的な位置偏差信号

【0027】

【数9】

$$[e_a, e_b, e_c, e_d]^T$$

が導かれている。これらの各位置偏差信号中には、除振台8の並進、回転及び捻り運動成分が全て存在するので、PI補償器14a, 14b, 14c, 14dの出力信号のなかにも様々な運動成分が含まれる。しかし、図1に示すPI補償器14a, 14b, 14c, 14dは順番に並進、x軸回りの回転、y軸回りの回転、及び捻り運動成分だけに対する補償の役割を有する。

【0028】次に、図1においてPI補償器14a, 14b, 14c, 14dの出力に対して加速度に関する運動モード信号

【0029】

【数10】

$$[A_g, A\theta_x, A\theta_y, A\theta_\phi]^T$$

を負帰還の形で加算した運動モード駆動信号

【0030】

【数11】

$$[z_g', z\theta_x', z\theta_y', z\theta_\phi']^T$$

は、運動モード分配回路17への入力となり、その出力

【0031】

【数12】

$$[s_a, s_b, s_c, s_d]^T$$

は、除振台8の4隅に配置された空気ばね式支持脚に駆動力を発生させるための信号となる。すなわち、並進、回転、及び捻り運動モードそれぞれに対する運動モード駆動信号

【0032】

【数13】

$$[z_g', z\theta_x', z\theta_y', z\theta_\phi']^T$$

を運動モード分配回路17に通すことによって、再び除振台8の4隅に配置された空気ばね式支持脚部位での駆動力に変換するのである。

【0033】なお、位置に関する運動モード抽出回路1



7

8

6の演算は(1)式に、加速度に関する運動モード抽出回路16'の演算は(1')式に、運動モード分配回路17の演算は(2)式にそれぞれ示される。これらの演\*

\*算は、演算増幅器と抵抗を使って容易に実現できる。

【0034】

【数14】

$$\begin{bmatrix} z_g \\ z\theta_x \\ z\theta_y \\ z\theta_\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \\ e_d \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

【0035】

※10※【数15】

$$\begin{bmatrix} A_g \\ A\theta_x \\ A\theta_y \\ A\theta_\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_a \\ A_b \\ A_c \\ A_d \end{bmatrix} \quad \dots(1')$$

【0036】

【数16】

$$\begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \\ s_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_g' \\ z\theta_x' \\ z\theta_y' \\ z\theta_\phi' \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

最後に、図5に示す従来の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置の運転性能と対比することによって、図1に示す本発明の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置の優位性を明らかにする。そこで、電圧電流変換器10a~10dの入力段に加算端子を設け、ここにステップ電圧を印加して除振台8にとってステップ状の捻り運動となるような外乱を印加した。運動モード偏差信号

【0037】

【数17】

$$[z_g, z\theta_x, z\theta_y, z\theta_\phi]^T$$

の収束の様子を図3に示す。図5の制御装置の場合、捻り運動を引き起こす外乱印加に対して捻り偏差信号

【0038】

【外1】

$$z\theta_\phi$$

のみならずその他の運動モード偏差信号も有意な励振が認められる。ところが、図1の制御装置の場合には、捻り偏差信号

【0039】

【外2】

$$z\theta_\phi$$

以外の運動モード偏差信号の励振はほとんど零である。

【0040】図4はステップ状の並進外乱印加に対する

運動モード偏差信号

【0041】

【数18】

20

$$[z_g, z\theta_x, z\theta_y, z\theta_\phi]^T$$

の収束を示す。図1の制御装置の場合、印加した外乱と同じ運動モードの並進運動偏差信号 $z_g$ だけが卓越しており、x及びy軸周りの運動モード偏差信号 $z\theta_x, z\theta_y$ と捻りの運動モード偏差信号

【0042】

【外3】

$$z\theta_\phi$$

30

は何れも抑圧されている。一方、図5の制御装置の場合は、全ての運動モード偏差信号が励振されているのである。しかし、図5の従来の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置においても空気ばね式支持脚a~dに対するフィードバック装置15a, 15b, 15c, 15dの閉ループ特性が同一で、かつ目標電圧13a, 13b, 13c, 13dによる位置の目標値が正しく設定されているならば、ステップ状の並進外乱印加に対して並進の運動モード偏差信号 $z_g$ だけが卓越し他の運動モード偏差信号の励振は殆ど無い筈である。図4のように、図5の

40

制御装置の場合において全ての運動モード偏差信号が励振されている理由は、フィードバック装置15a, 15b, 15c, 15dの閉ループ特性に差異があり、しかも位置の目標値設定が正しくないことを示している。制御装置の閉ループがこのような状態であるにもかかわらず、目標電圧13a, 13b, 13c, 13dやPI補償器14a, 14b, 14c, 14dなどの制御系のパラメータを一切変更せずに、図1のように位置に関する運動モード抽出回路16と加速度に関する運動モード抽出回路16'と運動モード分配回路17とを挿入して静的にも動的にも非干渉化するだけで外乱印加の運動モー

ド以外が抑圧されている。この実験事実本発明の制御装置の優位性を示す証左である。

【0043】（他の実施例）本発明では、空気ばねをアクチュエータとした鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置において、剛体運動モードのみならず柔軟運動モードまでも含めた運動を静的にも動的にも非干渉化する制御が施されている。従って、本発明は空気ばねをアクチュエータとする能動的除振台の制御装置に限定されるものではない。例えば、ボイスコイルモータをアクチュエータとした能動的除振台の制御装置への適用も本発明の範囲に属することは言うまでもない。

【0044】また、本発明では、鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置を対象として動的非干渉化制御装置の構\*

$$\begin{bmatrix} z_g \\ z\theta_x \\ z\theta_y \\ z\theta_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k\theta_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k\theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k\theta_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \\ e_d \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

【0047】

※20※【数20】

$$\begin{bmatrix} A_g \\ A\theta_x \\ A\theta_y \\ A\theta_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{ag} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{ax} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{ay} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{a\phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_a \\ A_b \\ A_c \\ A_d \end{bmatrix} \quad \dots(3')$$

【0048】

★ ★【数21】

$$\begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \\ s_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_g' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k\theta_x' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k\theta_y' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k\theta_\phi' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_g' \\ z\theta_x' \\ z\theta_y' \\ z\theta_\phi' \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

ただし、

【0049】

【外4】

$$(k_g, k\theta_x, k\theta_y, k\theta_\phi)$$

は運動モード偏差信号

【0050】

【外5】

$$(z_g, z\theta_x, z\theta_y, z\theta_\phi)$$

に対するゲインを、

【0051】

【外6】

$$(k_{ag}, k_{ax}, k_{ay}, k_{a\phi})$$

は加速度に関する運動モード信号

【0052】

\*成を開示したが、勿論水平方向除振台の制御装置へも動的非干渉化制御は適用可能である。水平方向の並進運動1自由度と水平面内の回転運動1自由度の合計2自由度を制御すべき数とした場合、2入力2出力の位置に関する運動モード抽出回路、2入力2出力の加速度に関する運動モード抽出回路、及び2入力2出力の運動モード分配回路を備えることになる。

【0045】さらには、運動モード毎のループゲイン調整のために、次式のようなゲイン調整機構を運動モード抽出回路16、16'と運動モード分配回路17の中に備えてもかまわない。

【0046】

【数19】

【外7】

$$(A_g, A\theta_x, A\theta_y, A\theta_\phi)$$

に対するゲインを、

【0053】

【外8】

$$(k_g', k\theta_x', k\theta_y', k\theta_\phi')$$

は運動モード駆動信号

【0054】

【外9】

$$(z_g', z\theta_x', z\theta_y', z\theta_\phi')$$

に対するゲインをそれぞれ表す。従って、(3)式、

(3')式、及び(4)式において

【0055】

50 【数22】

11

$$(k_g, k_{\theta_x}, k_{\theta_y}, k_{\theta_\phi}) = (1/4, 1/4, 1/4, 1/4),$$

$$(k_{ag}, k_{ax}, k_{ay}, k_{a\phi}) = (1/4, 1/4, 1/4, 1/4),$$

$$(k_g', k_{\theta_x}', k_{\theta_y}', k_{\theta_\phi}') = (1, 1, 1, 1)$$

とおいた特別の場合がそれぞれ(1)式、(1')式、及び(2)式に対応することは容易に了解されよう。

【0056】また、図1の実施例はアナログ演算回路で制御系を構成しているが、このうちの一部もしくは全部を電子計算機のようなデジタル演算装置で置き換えてもよい。

【0057】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、位置に関する4自由度の運動モード抽出回路と、加速度に関する4自由度の運動モード抽出回路と、4自由度の運動モード分配回路とをフィードバック装置に挿入することにより、下記のような効果がある。

(1) 位置に関する運動モード毎に最適な補償を施すことが可能となり、かつ加速度に関しては運動モード毎に最適なダンピングがかけられる。

(2) 並進運動に関する制御系のパラメータ調整や回転運動に関する制御系のパラメータ調整を各々独立して実施できる。

(3) 捻り運動モードを効果的に抑制できるので、除振台を剛体にする必要がなくなり、装置全体の重量を減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置のブロック図である。

【図2】除振台8の運動モードを示す図である。

【図3】除振台8にステップ状の捻りを外乱として与えたときの運動モード偏差信号の収束の様子を示す図であ

12

る。

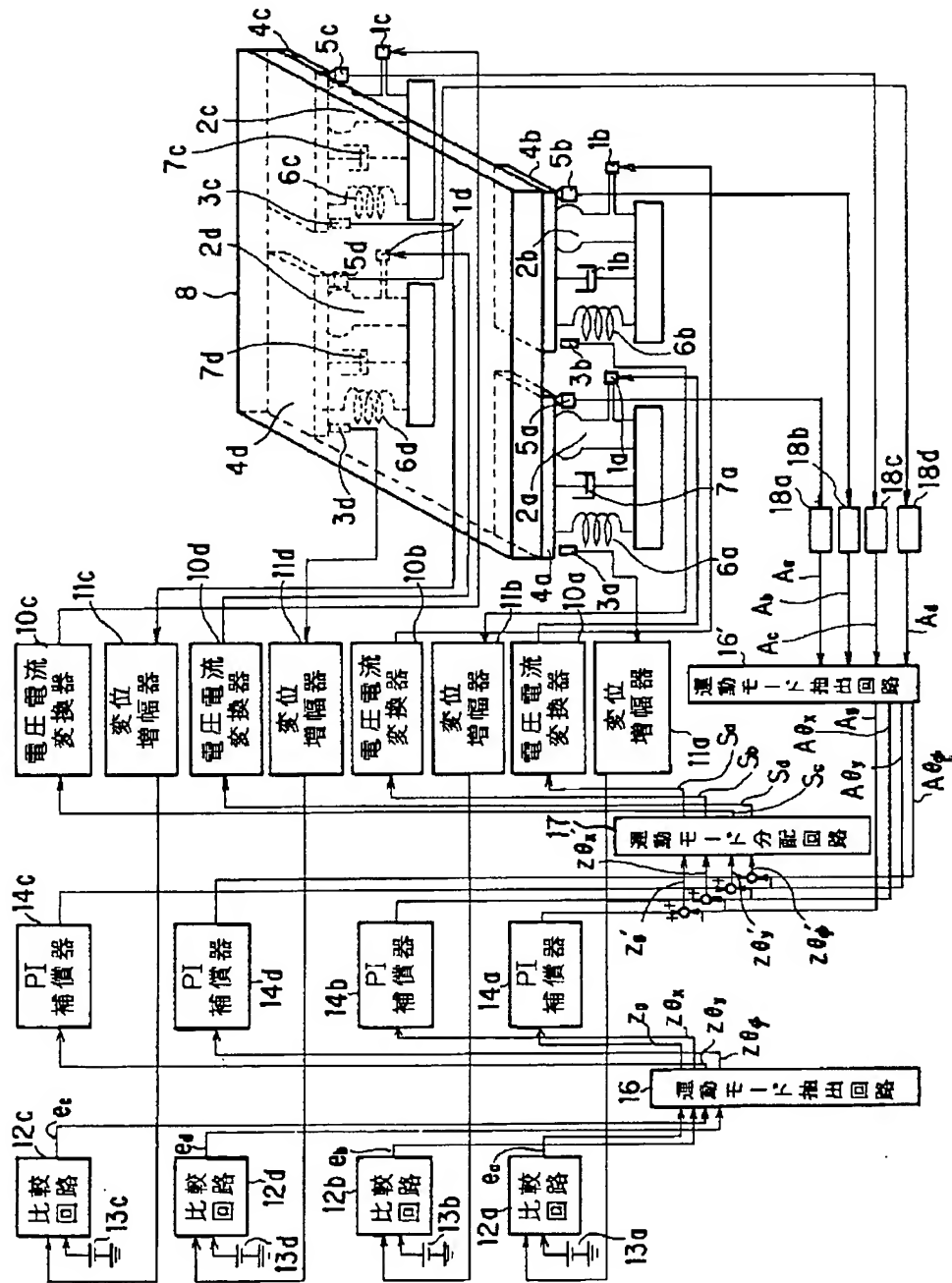
【図4】除振台8にステップ状の並進を外乱として与えたときの運動モード偏差信号の収束の様子を示す図である。

【図5】鉛直方向空気ばね式除振台の制御装置の従来例のブロック図である。

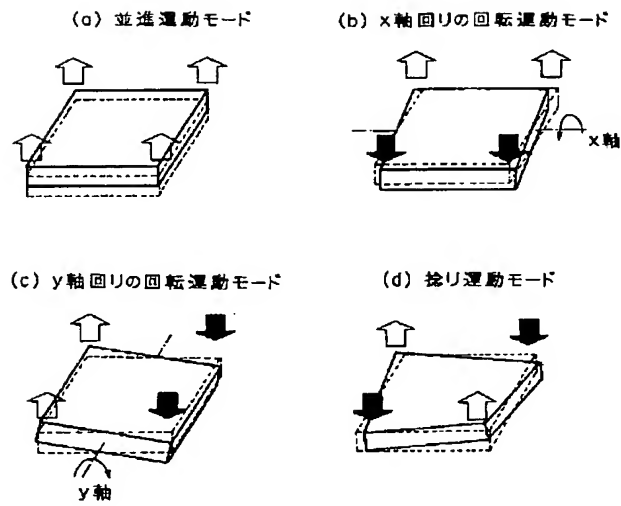
【符号の説明】

1 a, 1 b, 1 c, 1 d	サーボバルブ
2 a, 2 b, 2 c, 2 d	空気ばね
3 a, 3 b, 3 c, 3 d	位置センサ
4 a, 4 b, 4 c, 4 d	支持台
5 a, 5 b, 5 c, 5 d	加速度センサ
6 a, 6 b, 6 c, 6 d	予圧用機械ばね
7 a, 7 b, 7 c, 7 d	粘性要素
8	除振台
9 a, 9 b, 9 c, 9 d	ローパスフィルタ
10 a, 10 b, 10 c, 10 d	電圧電流変換器
11 a, 11 b, 11 c, 11 d	変位増幅器
12 a, 12 b, 12 c, 12 d	比較回路
13 a, 13 b, 13 c, 13 d	目標電圧
14 a, 14 b, 14 c, 14 d	PI補償器
15 a, 15 b, 15 c, 15 d	フィードバック装置
16, 16'	運動モード抽出回路
17	運動モード分配回路
18 a, 18 b, 18 c, 18 d	前置補償器

【図1】



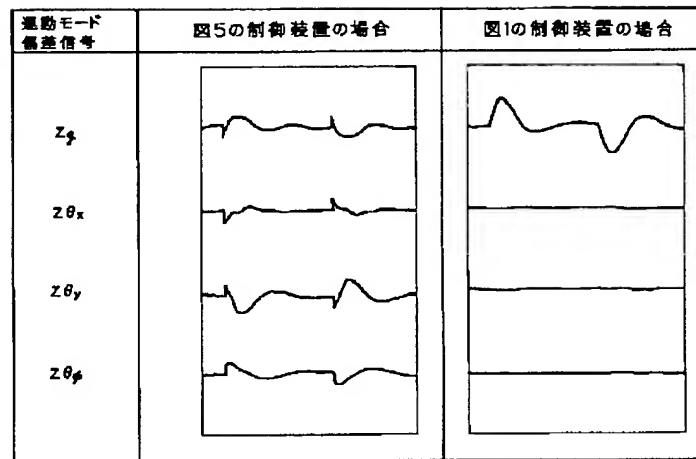
【図2】



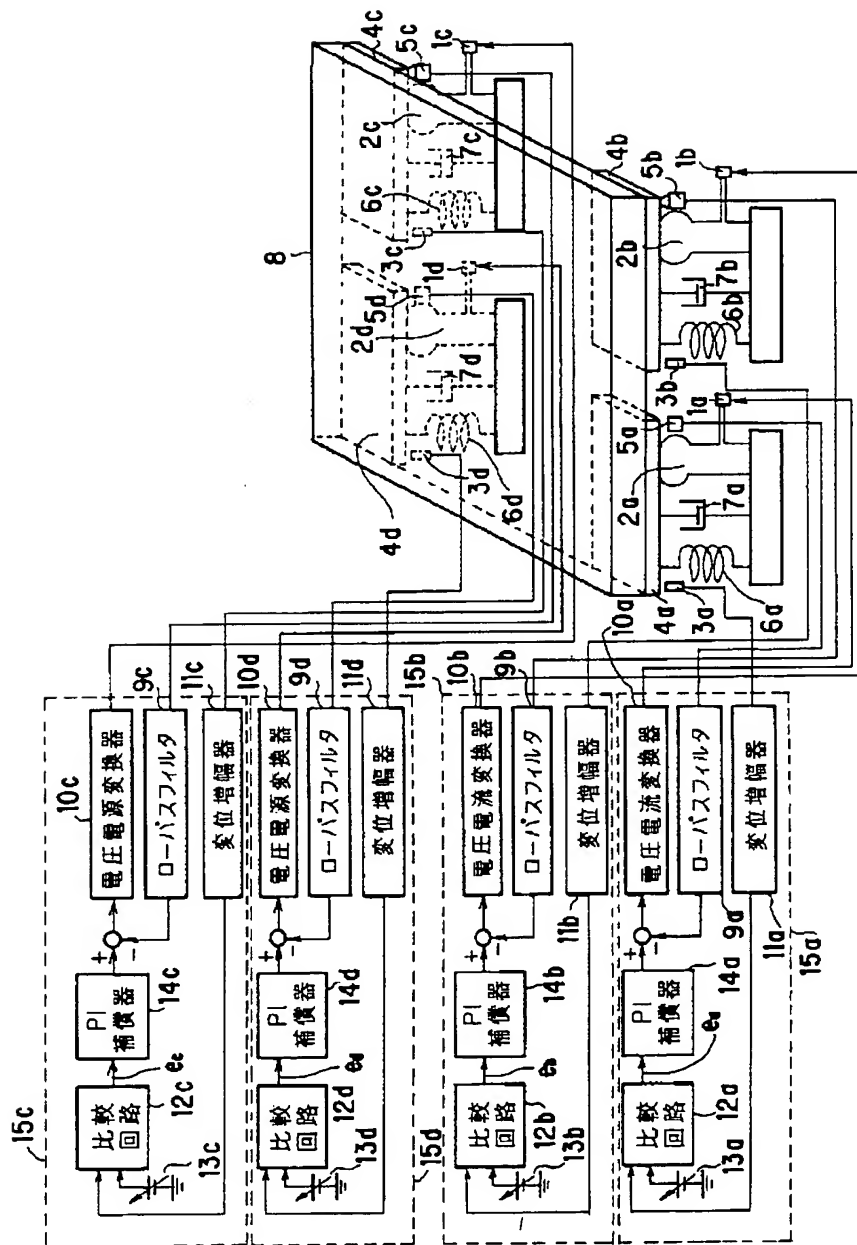
【図3】

運動モード 偏差信号	図5の制御装置の場合	図10の制御装置の場合
$z_f$		
$z\theta_x$		
$z\theta_y$		
$z\theta_\rho$		

【図4】



【図5】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**